

# ANALISIS PENGARUH PARAMETER KONSENTRASI LARUTAN ELEKTROLIT DALAM PROSES *ELECTROCHEMICAL MACHINING* (ECM) PADA ALUMINIUM 1100 DENGAN MENGGUNAKAN *TOOL* KUNINGAN BERLUBANG

Anggit Dwi Prasetya<sup>1</sup>, Aris Widyo Nugroho<sup>2</sup>, Muh Budi Nur Rahman<sup>3</sup>

Program Sudi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
Jl. Brawijaya, Tamantirto, Bantul Yogyakarta 55183  
[anggit.dwi.2014@ft.umy.ac.id](mailto:anggit.dwi.2014@ft.umy.ac.id)

---

## Intisari

Pada penelitian ini ditujukan untuk optimalisasi hasil kualitatif MRR, *overcut* dan ketirusan dari lubang hasil pemesinan ECM skala laboratorium pada aluminium 1100 pada benda kerja *masking* dan *non masking* akibat pengaruh konsentrasi larutan elektrolit dengan menggunakan *tool* elektroda kuningan berlubang. Variasi konsentrasi larutan elektrolit yang digunakan yaitu 10, 15, dan 20 kg/L dengan laju aliran 2.5 lpm, jarak celah (*gap*) 0.75 mm, tegangan 13 volt dan waktu pemesinan 140 detik.

Dari hasil pemesinan diketahui bahwa semakin besar konsentrasi larutan elektrolit maka akan semakin besar MRR dan *overcut* yang dihasilkan, Rata-rata MRR terbesar pada konsentrasi larutan elektrolit 20 kg/L yaitu 1.0542 g/s dengan *overcut* 31% pada benda kerja *non masking* dan 0.8914 gr/s dengan *overcut* 30% pada *masking*. Nilai MRR dan *overcut* pada benda kerja *non masking* lebih besar dari pada benda kerja *masking*, hal tersebut dipengaruhi arus yang muncul pada benda kerja *non masking* lebih besar karena menyebar kepermukaan benda kerja. Pada hasil ketirusan benda kerja *masking* memiliki fenomena yang berbeda dari setiap variasi jarak celah (*gap*) yang diberikan, nilai ketirusan terkecil pada benda kerja *masking* yaitu 3.6° pada konsentrasi larutan elektrolit 20kg/L, nilai ketirusan terkecil pada benda kerja *non masking* yaitu 8.92° pada konsentrasi larutan elektrolit 10 kg/L.

**Kata kunci** : ECM, Konsentrasi, MRR, *Overcut*, ketirusan, Almununium 1100

---

## 1. PENDAHULUAN

*Electro Chemical Machining* (ECM) merupakan salah satu alat pemesinan non-konvensional yang dapat digunakan untuk memproses berbagai jenis material yang sifatnya dapat dialiri listrik. ECM didasarkan pada proses *anodic dissolution* dalam elektrolisis (Tlustý, 2000). ECM memiliki kelebihan yaitu dapat diaplikasikan ke berbagai macam material yang keras, *tool* yang digunakan juga tidak mengalami keausan seperti pada mesin konvensional. Seperti yang disebutkan dalam hukum Faraday, yaitu jika ada

dua logam yang direndam dalam larutan elektrolit dan dihubungkan dengan arus DC, maka partikel logam akan terlepas dari *anode* dan kemudian melekat ke *cathode*. Aliran elektrolit yang cukup kuat akan mencegah partikel logam melekat pada *cathode* dan akan membuang partikel-partikel tersebut dari area pemesinan.

Konsentrasi larutan juga berpengaruh pada proses pemesinan ECM, semakin pekat konsentrasi larutan yang terbentuk dari reaksi antara NaCl dan H<sub>2</sub>O maka kadar asam (HCl) yang terbentuk juga akan meningkat. HCl sendiri memiliki sifat korosif terhadap material yang terbuat dari logam. Semakin tinggi kadar asamnya maka tingkat korosifnya juga semakin meningkat.

Agar proses pemesinan menggunakan ECM menghasilkan kualitas yang bagus maka harus memperhatikan faktor-faktor seperti: beda potensial diantara kedua jenis logam, menentukan besar-kecilnya arus yang akan mengalir saat proses pemesinan, ukuran diameter pahat, jenis material pahat, jenis cairan elektrolit yang digunakan, jenis material *workpiece*, dan jarak celah (*gap*) antara *tool* dan *workpiece*. Parameter kualitas pemesinan meliputi besarnya nilai toleransi suaian dari dimensi rencana yang akan dibuat (*overcut*), efek ketirusan, *material removal rate* (MRR), serta kualitas tingkat kekasaran permukaan *workpiece* setelah diproses *machining* (*surface roughness*) (El-Hofy, 2005)

Nugraha, (2014) telah melakukan penelitian yang membahas tentang pengaruh *feed rate* terhadap *overcut*, nilai MRR dan *surface roughness* pada pemesinan ECM dalam pembuatan *multi-layered microfilter*. *Tool* yang digunakan adalah elektroda aluminium dan benda kerja dengan *stainless steel* 204, cairan elektrolit yang digunakan adalah NaCl dan aquades dengan perbandingan 0,15:1. Nilai MRR yang terjadi pada benda kerja berbanding lurus dengan besarnya *feed rate*. Sebaliknya, *overcut* yang terjadi pada benda kerja berbanding terbalik dengan besarnya *feed rate*. *Surface roughness* yang dihasilkan pada pemesinan juga berbanding terbalik dengan *feed rate*.

Sudiarso dkk, (2013) telah melakukan penelitian tentang besarnya *Material Removal Rate* (MRR) pada kuningan, *stainless steel* dan aluminium dengan menggunakan elektroda kuningan. Pada penelitian ini digunakan *tool* dari kuningan dengan diameter 2 mm dan 6 mm. Tegangan yang diberikan yaitu 15V dan larutan yang digunakan yaitu NaCl dengan konsentrasi 15kg/L dan kecepatan aliran 6 m/s. Kecepatan perpindahan *tool* yaitu  $2.98 \times 10^{-2}$  mm/s dan jarak celah (*gap*) yaitu 0.5 mm. Langkah-langkah proses pemesinan yaitu setelah pemesinan berjalan selma 4 menit maka *tool* akan bergerak mendekati benda kerja sejauh 0.89 mm setiap 30 detik. Total waktu dari proses pemesinan ini adalah 5.5 menit untuk setiap benda kerja. Hasil yang didapatkan dari penelitiannya yaitu data nilai rata-rata MRR pada setiap material, diantaranya yaitu MRR kuningan adalah  $2.96 \times 10^{-4}$  g/s, MRR *stainless steel* adalah  $2.54 \times 10^{-4}$  g/s dan MRR dari aluminium adalah  $7.9 \times 10^{-5}$  g/s. Data tersebut merupakan nilai MRR rata-rata untuk *tool* kuningan dengan diameter 2 mm. Selanjutnya untuk *tool* kuningan dengan diameter 6 mm yaitu  $5.74 \times 10^{-4}$  g/s untuk *stainless steel* dan  $2.53 \times 10^{-4}$  g/s untuk aluminium.

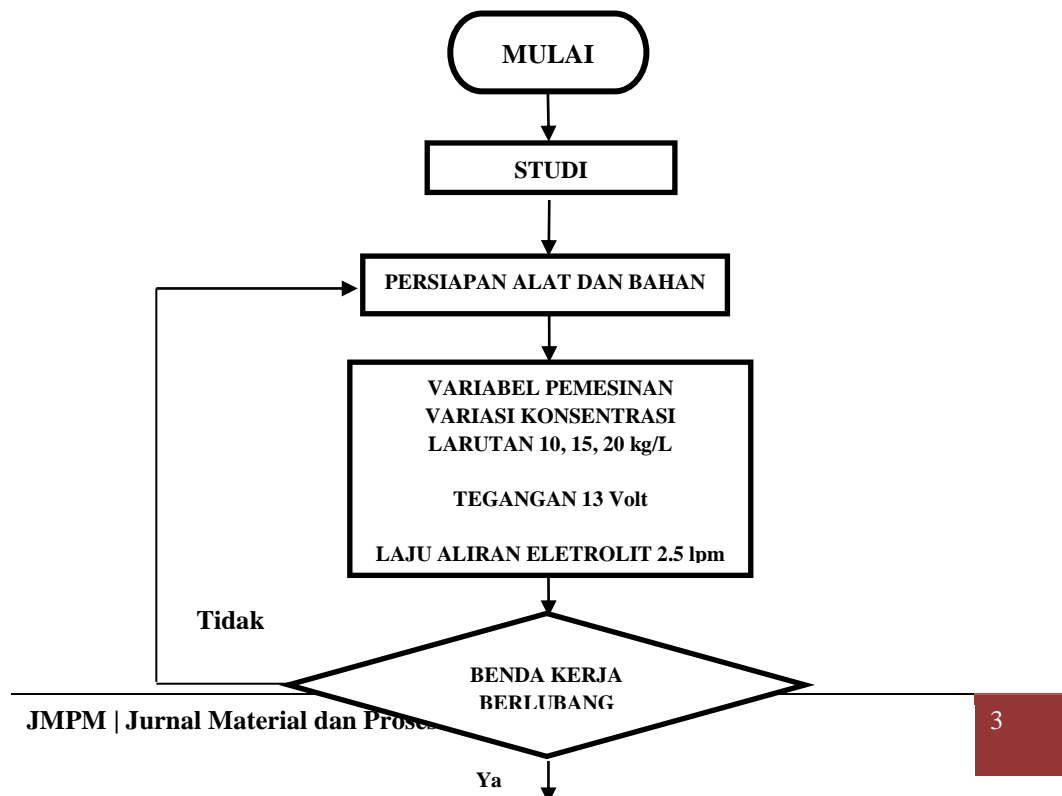
Rokin (2016) membahas tentang pengaruh tegangan dan variasi jarak celah (*gap*) pada proses ECM terhadap nilai MRR, *Overcut* dan ketirusan. Katoda yang digunakan adalah kuningan dan anodanya adalah aluminium 1100. *Tool* Kuningan yang digunakan tidak diberi perlakuan isolasi dan diberikan tegangan 7v, 10v, 15v dan jarak celah (*gap*) yang digunakan adalah 0.5 mm, 0.7 mm, 11 mm. Konsentrasi larutan yang digunakan adalah campuran antara 15% NaCl dengan 85% aquades. Kecepatan laju elektrolit yang digunakan yaitu 3 lpm dan material yang digunakan adalah aluminium 1100. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu semakin besar jarak celah (*gap*) pada benda kerja maka MRR yang dihasilkan akan semakin besar, berbanding lurus dengan tegangan, yaitu semakin besar tegangan yang digunakan maka semakin besar pula MRR yang

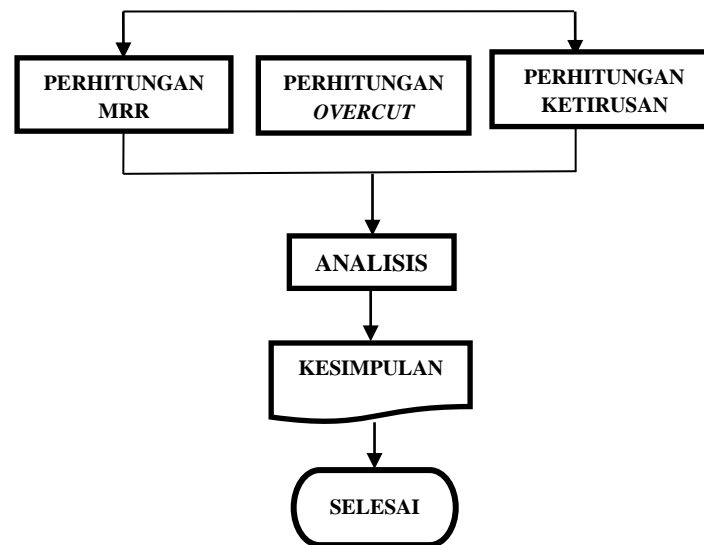
dihasilkan. Dengan kata lain besarnya tegangan dan jarak celah (*gap*) berbanding lurus dengan MRR yang ditimbulkan.

Namun penelitian diatas belum mempelajari pengaruh variasi konsentrasi larutan elektrolit dengan perlakuan benda kerja *masking-nonmasking* dan bentuk *tool* yang berlubang terhadap nilai *overcut*, ketirusan dan MRR sehingga perlu untuk diteliti lebih lanjut sejauh mana pengaruh konsentrasi larutan elektrolit, perlakuan benda kerja *masking-nonmasking* dan bentuk *tool* yang berlubang tersebut terutama dari hasil produk pengerjaan lubang (*drilling*). Dari uraian diatas, maka pada penelitian ini akan dilakukan pembentukan lubang melalui percobaan ECM dengan *tool* berlubang, perlakuan *masking-nonmasking* dan parameter konsentrasi larutan elektrolit.

## 2. METODE PENELITIAN

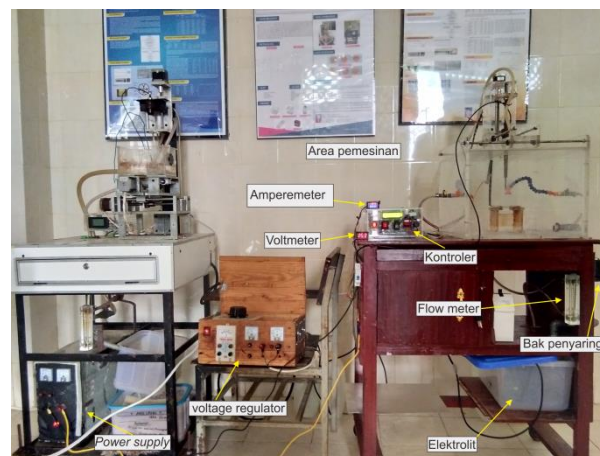
Pada penelitian ini dibuatnya diagram alir merupakan gambar peyederhanaan proses-proses atau tahapan yang dilakukan. Dengan adanya diagram alir maka proses penelitian akan dilakukan sesuai dengan gambar dari diagram alir yang telah direncanakan.





Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan memvariasi konsentrasi larutan elektrolit pada proses pemesinan. Konsentrasi larutan elektrolit yang digunakan pada penelitian ini adalah 10, 15 dan 20 kg/L. Kemudian dilakukan pengambilan data untuk dilihat dan dianalisis pengaruhnya terhadap MRR, *overcut* dan ketirusan hasil pemesinan. Pengaruh dilihat untuk membandingkan hasil pemesinan antara benda kerja *masking* dan *non masking* dengan penggunaan *tool* elektroda kuningan berlubang .



Gambar 2 ECM *portable single axis*.

Bahan penelitian :

1. *Tool* elektroda kuningan berlubang
2. Cairan NaCl
3. Benda kerja plat aluminium 1100
4. Stiker *masking*

Tabel 1 Variabel Bebas Penelitian

Benda kerja yang di <i>masking</i>			Benda kerja <i>non masking</i>		
Jarak Celah ( <i>Gap</i> )	Tegangan	Elektrolit	Jarak Celah ( <i>Gap</i> )	Tegangan	Elektrolit
0,75 mm	13 V	10 kg/L	0,75 mm	13 V	10 kg/L
0,75 mm	13 V	15 kg/L	0,75 mm	13 V	15 kg/L
0.75 mm	13 V	20 kg/L	0.75 mm	13 V	20 kg/L

Variabel pemesinan :

1. Variasi Konsentrasi larutan elektrolit 10, 15 dan 20 kg/L.
2. Tegangan 13 volt
3. Laju aliran elektrolit 2.5 lpm
4. Waktu pemesinan 140 detik
5. Jarak celah (*gap*) 0.75 mm

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menentukan nilai terbaik dari setiap hasil percobaan terhadap *Material Removal Rate* (MRR), ketirusan hasil pemesinan dan overcut yang didasarkan pada faktor yang terlibat. Dengan mempertimbangkan jumlah faktor yang terlibat beserta hasil observasi untuk menghitung *Material Removal Rate* (MRR) menggunakan persamaan 1.

$$MRR = \frac{m_0 - m_t}{t} \dots\dots\dots ( 1 )$$

*Overcut* didefinisikan sebagai penyimpangan yang menunjukkan bahwa ukuran lubang hasil *drilling* lebih besar dari ukuran yang ingin dicapai, jadi *overcut* (*Oc*) Adapun rumus dari kecepatan aliran fluida dapat dilihat pada persamaan 2.

$$Oc = d_2 - d_0 \dots\dots\dots ( 2 )$$

Ketirusan yaitu sudut yang terbentuk dari penyimpangan atau deviasi antara lubang terbesar dan yang terkecil yang akan membentuk sudut kemiringan pada hasil proses *drilling* ECM. Adapun rumus untuk menghitung ketirusan dapat dilihat pada persamaan 3.

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{d_2 - d_1}{2.h} \right) \dots\dots\dots ( 3 )$$

Keterangan :

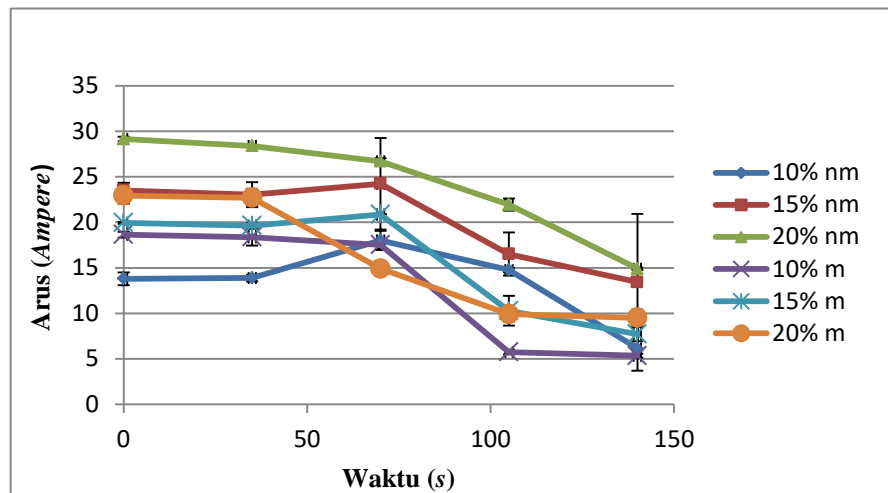
- $m_0$  : massa benda kerja sebelum pemesinan (*gr*)
- $m_t$  : massa benda kerja sesudah pemesinan (*gr*)
- $t$  : waktu proses pemesinan (*s*)
- $d_1$  : diameter hasil pemesinan permukaan bawah (*mm*)
- $d_2$  : diameter hasil pemesinan permukaan atas(*mm*)
- $d_0$  : diameter yang ingin dicapai (*mm*)

h : ketebalan benda kerja (mm)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

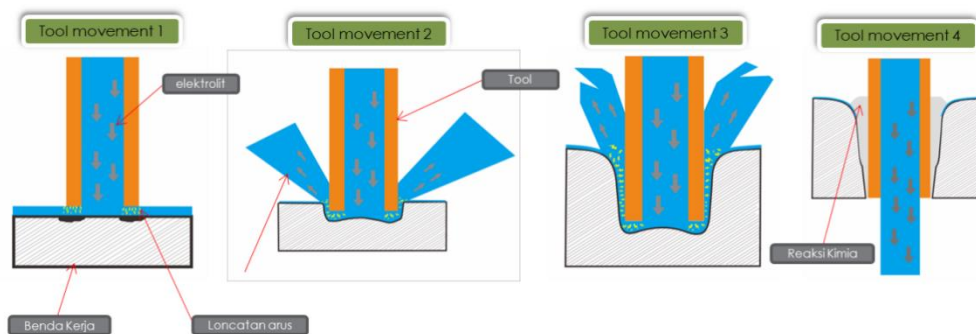
Tabel 2 Perhitungan Besarnya Arus Pemesinan

Masking					Non Masking		
Konsentrasi (kg/L)	Waktu (detik)	Arus (Ampere)		Rata -Rata Arus	Arus (Ampere)		Rata -Rata Arus
		Spesimen 1	Spesimen 2	(Ampere)	Spesimen 1	Spesimen 2	(Ampere)
10	0	18.2	19.1	18.65	12.8	14.8	13.8
	35	17.05	19.68	18.365	13.37	14.4	13.885
	70	18.11	16.93	17.52	16.52	19.51	18.015
	105	6.11	5.4	5.755	14.45	15.07	14.76
	140	5.65	5.04	5.345	2.68	9.61	6.145
15	0	20.1	19.8	19.95	24.7	22.3	23.5
	35	19.21	20.05	19.63	24.96	21.12	23.04
	70	20.89	20.84	20.865	31.36	17.12	24.24
	105	7.97	12.61	10.29	19.88	13.14	16.51
	140	8.8	6.62	7.71	24.01	2.87	13.44
20	0	24.2	21.7	22.95	28.8	29.5	29.15
	35	23.95	21.43	22.69	28.49	28.3	28.395
	70	13.95	15.87	14.91	26.24	27.17	26.705
	105	11.07	8.76	9.915	21	22.88	21.94
	140	10.78	8.23	9.505	14.73	15.08	14.905



Gambar 3 Grafik rata-rata besar aliran arus pada proses pemesinan ECM pada material aluminium 1100

Dari Tabel 2 dan Gambar 3. diatas dapat dilihat arus tertinggi yang muncul pada benda kerja *non masking* yaitu pada konsentrasi larutan elektrolit 20 kg/L pada spesimen 2, yaitu arus yang dihasilkan sebesar 29.5 A pada detik pertama. Sedangkan pada benda kerja yang menggunakan *masking* yaitu pada konsentrasi larutan elektrolit 20 kg/L pada spesimen 1, yaitu arus yang dihasilkan sebesar 24.2 A pada detik pertama. Arus yang muncul pada benda kerja *non masking* lebih besar, hal tersebut diakibatkan arus ketika pemesinan menyebar sedangkan pada benda *masking* arus lebih terpusat. Rata-rata arus tertinggi pada konsentrasi larutan elektrolit yang besar, hal tersebut diakibatkan loncatan arus antara *tool* dengan permukaan benda kerja lebih besar karena muatan arus listrik yang berpindah lebih besar. Penyebaran arus pada saat proses pemesinan dapat dilihat pada gambar 4.

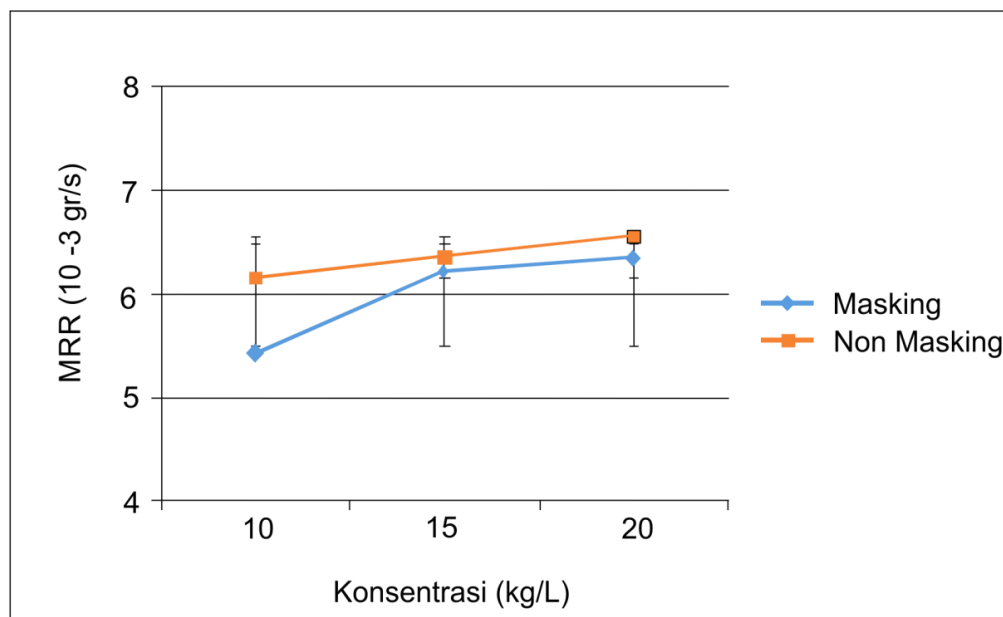


Gambar 4 Loncatan arus yang muncul ketika pemesinan

Tabel 3 Hasil Perhitungan MRR

Konsentrasi	Waktu	Non Masking	Masking
-------------	-------	-------------	---------

(mm)	(t) (detik)	Rata-Rata m (gr)		$\Delta m =$ $m_o - m_t$ (g)	MRR (g/s)	Rata-Rata m (gr)		$\Delta m =$ $m_o - m_t$ (g)	MRR (g/s)
10	140	4.3401	3.4791	0.8610	0.006150	4.1573	3.3980	0.7593	0.005424
15	140	4.3628	3.4735	0.8893	0.006352	4.3194	3.4508	0.86855	0.006204
20	140	4.3412	3.4243	0.9168	0.006548	4.3587	3.4709	0.8878	0.006341



Gambar 5 Grafik rata-rata MRR dari pengaruh jarak celah (*gap*), pada benda kerja *masking* dan *non masking* pada material aluminium 1100

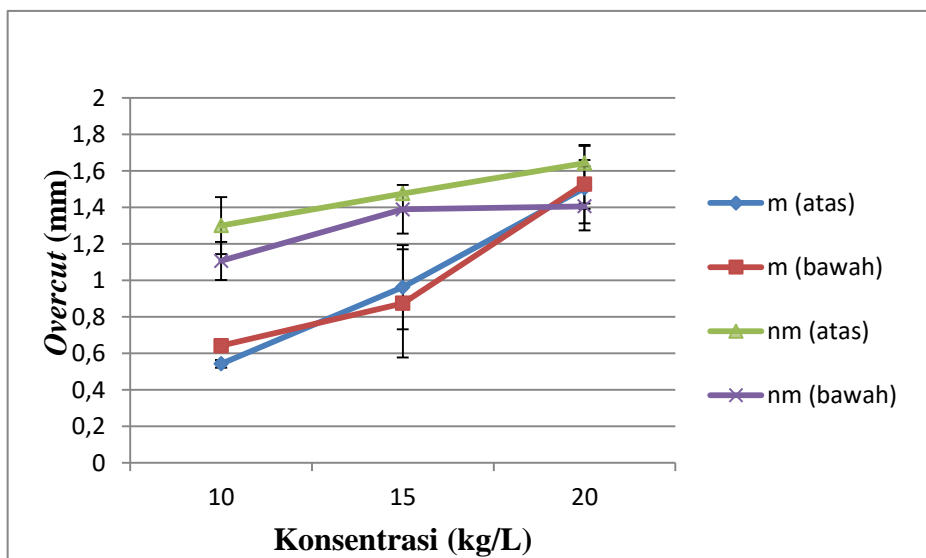
Dari Tabel 3 dan Gambar 4. diatas dapat dilihat MRR tertinggi yang muncul pada benda *non masking* pada konsentrasi larutan elektrolit 20 kg/L yaitu sebesar  $6.548 \times 10^{-3}$  g/s dan pada benda yang di-*masking* nilai MRR tertinggi yaitu pada konsentrasi larutan elektrolit 20 kg/L yaitu sebesar  $6.341 \times 10^{-3}$  g/s. Proses pemesinan benda kerja pada aluminium 1100 hanya dengan ketebalan 0,5 mm membutuhkan waktu 140 detik untuk membuat lubang yang mendekati sempurna pada setiap spesimen benda kerja *non masking* dan *masking*, dengan tegangan 13 V dan jarak celah (*gap*) sebesar 0.75 mm.

Tabel 4 Hasil *Overcut* Dari Setiap Benda Kerja

Permukaan	Tegangan (volt)	Konsentrasi Elektrolit (kg/L)	<i>Gap</i> (mm)	<i>Non Masking</i>			<i>Masking</i>		
				d2	do	<i>Overcut</i>	d2	do	<i>Overcut</i>



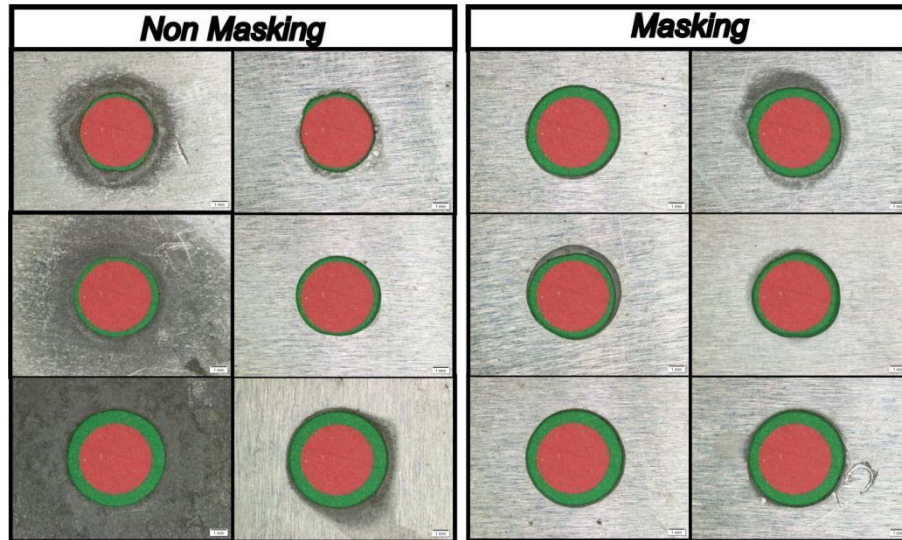
				(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Atas	13	10	0.75	6.347	5	1.347	5.358	5	0.358
Bawah	13	10	0.75	6.19	5	1.19	5.558	5	0.558
Atas	13	10	0.75	6.254	5	1.254	5.726	5	0.726
Bawah	13	10	0.75	6.023	5	1.023	5.725	5	0.725
Atas	13	15	0.75	6.321	5	1.321	6.218	5	1.218
Bawah	13	15	0.75	6.653	5	1.653	6.189	5	1.189
Atas	13	15	0.75	6.632	5	1.632	5.707	5	0.707
Bawah	13	15	0.75	6.126	5	1.126	5.559	5	0.559
Atas	13	20	0.75	6.547	5	1.547	6.527	5	1.527
Bawah	13	20	0.75	6.475	5	1.475	6.507	5	1.507
Atas	13	20	0.75	6.739	5	1.739	6.485	5	1.485
Bawah	13	20	0.75	6.337	5	1.337	6.548	5	1.548



Gambar 6 Hasil rata-rata *overcut* permukaan benda kerja *masking* dan *non masking* pada aluminium 1100

Dari tabel 3 dan Gambar 6 memperlihatkan bahwa semakin besar nilai konsentrasi larutan elektrolit yang digunakan maka semakin besar *overcut* yang dihasilkan. Nilai *overcut* yang didapatkan pada benda kerja *non masking* lebih tinggi dibandingkan, nilai *overcut* yang didapatkan pada benda kerja yang di-*masking*. Hal tersebut dikarenakan *masking* yang berfungsi untuk membatasi area pemesinan agar *overcut* yang terjadi tidak terlalu melebar ketika proses pemesinan. Sedangkan pada benda kerja *non masking*,

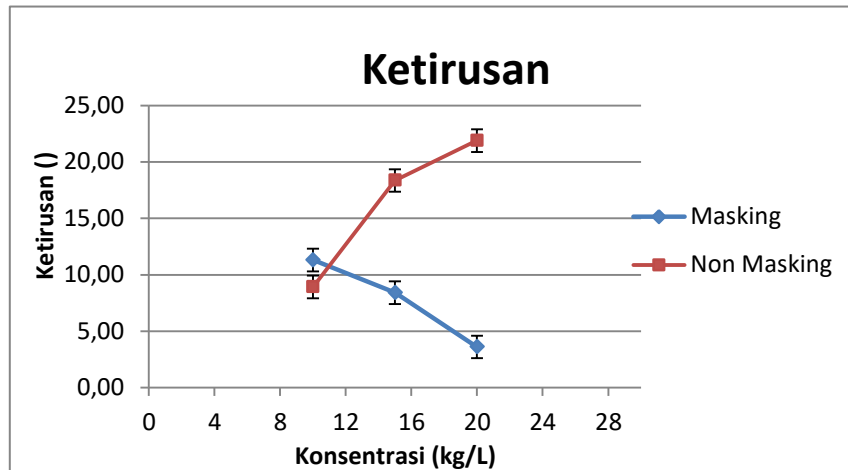
nilai *overcut* yang didapatkan akan lebih besar dikarenakan arus yang menyebar dipermukaan benda kerja yang menyebabkan permukaan di sekitar *workpiece* ikut terkikis. Pada benda kerja *masking*, nilai rata-rata *overcut* terkecil pada variasi konsentrasi larutan elektrolit 10 kg/L yaitu sebesar 0.358 mm dan pada benda kerja *non masking*, rata-rata *overcut* terkecil pada variasi konsentrasi larutan elektrolit 10 kg/L yaitu sebesar 1.023 mm.



Gambar 7 Hasil foto makro permukaan benda kerja *masking* dan *non masking* pada aluminium 1100

Tabel 5 Perhitungan Ketirusan Benda Kerja

Konsentrasi (kg/L)	<i>Masking</i>				<i>Non Masking</i>			
	d2	d1	h	Ketirusan	d2	d1	h	Ketirusan
	(mm)	(mm)	(mm)	(°)	(mm)	(mm)	(mm)	(°)
10	5.55	5.35	0.5	11.31	6.34	6.19	0.5	8.92
15	5.70	5.55	0.5	8.42	6.65	6.32	0.5	18.37
20	6.54	6.48	0.5	3.60	6.73	6.33	0.5	21.90



Gambar 8 Grafik hasil pengukuran benda kerja *masking* dan *non masking* pada aluminium 1100

Dari tabel 5 dan Gambar 8 memperlihatkan bahwa perbedaan selisih antara diameter atas dan diameter bawah dari setiap masing-masing variasi konsentrasi larutan elektrolit mempengaruhi hasil dari ketirusan. Semakin besar variasi nilai konsentrasi larutan elektrolit yang diberikan maka arus yang keluar dan akan menyebar kepermukaan benda kerja, sehingga arus tidak terpusat. Hasil ketirusan terkecil pada benda kerja *masking* adalah  $3.60^\circ$ , sedangkan benda kerja *non masking* nilai ketirusan terkecil yaitu  $8.92^\circ$ .

Konsentrasi (kg/L)	10	15	20
<i>Masking</i>			
<i>Non Masking</i>			

Gambar 9 Hasil pengukuran ketirusan benda kerja *masking* dan *non masking* pada aluminium 1100 dengan software *Imagej*

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Pada benda kerja *masking* apabila variasi konsentrasi larutan elektrolit yang diberikan semakin besar maka arus pada awal pemesinan akan semakin besar. Hal tersebut berakibat pada nilai MRR dan *overcut* menjadi lebih besar. Berbeda dengan nilai ketirusan yang dihasilkan, semakin besar konsentrasi larutan elektrolit maka sudut ketirusan semakin kecil.
2. Pada benda kerja *non-masking* apabila variasi konsentrasi larutan elektrolit yang diberikan semakin besar maka arus pada awal pemesinan akan lebih besar dibandingkan dengan benda kerja *masking*. Hal tersebut berakibat pada nilai MRR, *overcut* dan ketirusan menjadi semakin besar.
3. Penggunaan variasi benda kerja dengan *masking* dan *non masking* memiliki hasil yang berbeda. Penggunaan *masking* pada benda kerja dapat membatasi area pemesinan dan membatasi arus yang dibangkitkan menjadi lebih terpusat pada bagian pola *masking*.
4. Dari semua hasil pengujian nilai optimal yang didapatkan yaitu pada benda kerja *masking* dengan variasi konsentrasi larutan elektrolit 10 kg/L. Hal tersebut dapat dilihat dari hasil *overcut* yang relatif lebih kecil serta hasil pengukuran arus dan MRR yang tidak terlalu besar sehingga konsumsi daya akan lebih optimal ,akan tetapi hasil ketirusan yang didapatkan masih cukup tinggi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Adi, G. P. (2015). *Optimasi Parameter Konsentrasi Elektrolit, Tegangan, dan Gap Permesinan Dalam Pembuatan Profil Multilayered Microfilters dengan Proses Electrochemical Machining Menggunakan Metode Taguchi*. Yogyakarta : Skripsi, Universitas Gadjah Mada.
- Ayubi, Y. A. (2017). *Pengaruh Tegangan Dan Konsentrasi Elektrolit Pada Proses Fabrikasi Microchanel Menggunakan Ecm Dengan Bahan Alumunium*. Yogyakarta : Skripsi, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Budiman, A. (2012). *Studi Eksperimental Pengaruh Konsentrasi Larutan Terhadap Laju Pelepasan Material Pada Proses Electrochemical Machining*. Surabaya : Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- El-Hofy, H. (2005). *Advanced Machining Processes*. New York: Mcgraw-Hil.
- Mcgeough, J. A. (1988). *Advanced Methods Of Machining*. Chapman And Hall Ltd, London.
- Neto, D. J., Silva, E. M., & Da Silva, M. B. (2006). *Intervening Variables In Electrochemical Machining*. Journal Of Materials Processing Technology.
- Nugroho, (2014). *Pembuatan CNC Electro Chemical Machining Serta Pengujian Permesinan Pada Pembuatan Multi-Layered Microfilter Dengan Benda Kerja Stainless Steel 204 Terisolasi*. Skripsi: Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

- Rokin, F. (2016). *Pengaruh Tegangan dan Variasi Jarak Celah (Gap) Pada Proses Electrochemical Machining (ECM) Menggunakan Elektroda Tidak Terisolasi Terhadap Nilai MRR, Overcut dan Ketirusan Pada Aluminium 1100*. Yogyakarta : Jurnal Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT), Volume (4).
- Septiaji, P. (2016). *Analisa Perhitungan MRR, Overcut, Dan Ketirusan pada Stainless Steel 304 Dan Aluminium 1100 Dengan Pengaruh Variasi Tegangan dan Gap pada proses Electro-Chemical Machining (ECM) Menggunakan Elektroda Terisolasi*. Yogyakarta : Skripsi, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Sudiarso, A., Mahardika, M., & Ramdhani, N. L. (2013). *Overcut on Electrochemical Machining of Brass, Stainless Steel, And Aluminium Using Brass Electrodes*. International Journal Of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering (Ijmmme), Volume 1(1).
- Suhardjono, 2014. *Studi Eksperimental Variasi Konsentrasi Elektrolit KCl pada Overcut dan Ketirusan Hasil Drilling Proses ECM*. Surabaya.
- Tlusty, G. (2000). *Manufacturing Processes And Equipment*. Prentice-Hall. Inc., New York. .
- Widyargo, R. (2017). *Analisis Parameter Proses dalam Fabrikasi Microchamber Menggunakan Mesin Electrochemical Machining (ECM) Pada Stainless Steel 316 menggunakan Tool Kuningan dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta : Skripsi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.